

В.В. ДУЩЕНКО, канд. техн. наук (м. Харків)

СТАБІЛІЗАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ДЕМПФІРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ПІДВІСКИ ВІЙСЬКОВИХ ГУСЕНИЧНИХ ТА КОЛІСНИХ МАШИН НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ЕФЕКТІВ ФАЗОВИХ ПЕРЕХОДІВ

Рассмотрена возможность использования веществ, претерпевающих фазовые переходы I-го та II-го рода для стабилизации температуры и охлаждения демпфирующих устройств подвески военных гусеничных и колесных машин.

The opportunity of use of the substances undergoing phase transitions I those II of a sort for stabilization of temperature and cooling snubber of devices of a suspender of military caterpillar and wheel machines is considered.

Постановка проблеми. Головною проблемою при забезпеченні високих середніх швидкостей військових гусеничних та колісних машин (ВГКМ) на місцевості при допустимих показниках плавності руху (потужність двигуна вважається достатньою) є надмірний нагрів демпфіруючих пристроїв (ДП) підвіски і, як результат, можливий вихід їх із ладу. Крім цього, негативний вплив вносить висока температурна нестабільність характеристик ДП. Це вимагає при виборі параметрів підвіски, що задовольняють вимоги технічного завдання, перевіряти можливість реалізації необхідних характеристик ДП по їх тепловій напруженості, що допускається, та приймати необхідні заходи для зниження останньої і забезпечення стабілізації вказаних характеристик.

Аналіз останніх досягнень. Відомі декілька напрямків зниження теплової напруженості ДП ВГКМ та стабілізації їх характеристик. Одним з них є застосування у тому чи іншому вигляді спеціальних систем охолодження ДП – або традиційних, на основі охолоджуючої рідини, або нетрадиційних, наприклад, із застосуванням теплової труби [1, 2].

Мета досліджень. Теоретично обґрунтувати можливість застосування нетрадиційних систем стабілізації температури та охолодження ДП підвіски ВГКМ на основі використання фізичних ефектів фазових переходів.

У роботі [3] представлено результати досліджень плавності руху гусеничної машини та теплової напруженості її ДП (телескопічних гідроамортизаторів) при руху по найбільш несприятливому профілю нерівностей – гармонічному профілю з відстанню між нерівностями у дві довжини опорної поверхні гусениць та висотою нерівностей, що відповідає швидкісній характеристиці її системи підресорювання. Висота нерівностей на резонансному режимі (швидкість $9,44...10,56 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) складала 220 мм. Температурний режим роботи ДП повинен був знаходитися у межах $100...110^\circ\text{C}$. Дослідження показали, що поглинаюча потужність кожного з ДП перших двох підвісок на резонансному режимі повинна складати близько 18,5 кВт, але без порушення

теплого балансу вони були спроможні поглинути потужність лише у 2,5 кВт (при застосуванні високотемпературної робочої рідини до 4,5 кВт). Таким чином, ДП, що застосовувалися, мали у 4...7 разів меншу за необхідну поглинаючу потужність.

Необхідно уточнити, що вказані умови руху є досить жорсткими, зустрічаються не так часто і машина в них рухається нетривалий час. Тому на практиці ДП можуть мати меншу енергоємність. Якщо машина рухалась у доволі легких умовах і в'їхала на важку ділянку, то ДП почнуть інтенсивно нагріватися. Вважається, що це займе деякий час, за який машина може подолати важку ділянку траси і ДП отримають змогу надалі охолонути. Таким чином, для забезпечення нормального теплового режиму ДП на усіх швидкостях руху, при висотах нерівностей, характерних для важких дорожніх умов, необхідно, хоча б тимчасово, підвищувати їх енергоємність, щоб згладжувати піки теплової напруженості.

Тепло dQ , що виділяється в процесі роботи ДП за час dt , витрачається на нагрів робочої рідини і деталей (dQ_H), відводиться в навколишній повітряний простір теплообміном (dQ_e) і випромінюванням (dQ_u), а також передається через точки кріплення ДП з корпусом ВГКМ ($dQ_{кр}$).

У світлі вищесказаного, розглянемо можливість використання фізичних ефектів фазових переходів для стабілізації температури та охолодження ДП підвіски ВГКМ за рахунок збільшення складової dQ_H , що витрачається на нагрів їх робочої рідини і деталей.

Відомо, що речовина може знаходитися у чотирьох агрегатних станах: твердому, рідкому, газоподібному та плазмовому, кожний з яких характеризується певною внутрішньою структурою та властивостями. При переході речовини з одного агрегатного стану до іншого завжди стрибком міняються її щільність та енергія. Перехід до агрегатного стану, що відповідає більш високій температурі, потребує підводу енергії, у зворотному напрямку перехід супроводжується виділенням енергії, при цьому температура є, як правило постійною на весь час зміни агрегатного стану. Такі переходи називають фазовими переходами I-го роду (перервні фазові переходи). Якщо енергія та щільність міняються безперервно, а стрибок відчувають теплоємність, теплопровідність, коефіцієнт теплового розширення, модуль пружності та інше, то такі переходи називають фазовими переходами II-го роду (безперервні або критичні фазові переходи). Такими є, наприклад, перехід в точці Кюрі феромагнетика у парамагнетик, сегнетоелектрика у параелектричний стан, перехід рідкого гелію у надтекучий стан та інше [4].

Таким чином, для стабілізації температури ДП, в його конструкції можна застосувати певну кількість спеціальної додаткової речовини і використати поглинання енергії при зміні її агрегатного стану (фазовий перехід I-го роду), або підвищення теплоємності цієї речовини при нагріві та наближенні до точки Кюрі.

Розглянемо можливість використання фазового переходу I-го роду. Згадану вище складову теплової енергії dQ_H , що витрачається на нагрів робочої рідини і деталей можна визначити, як:

$$dQ_H = \frac{m_K \cdot c_M (dT + dT_\theta)}{2} + m_{шт} \cdot c_M \cdot dT_\theta + m_p \cdot c_p \cdot dT_p;$$

$$dT = T - T_O; \quad dT_\theta = T_\theta - T_O; \quad dT_p = T_p - T_O;$$

де: $m_K, m_{шт}, m_p$ - відповідно, маса корпусу, штоку з поршнем (лопасті) та робочої рідини; $c_M = 0,47 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$ - питома теплоємність металевих деталей; $c_p = 1,67 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$ - питома теплоємність робочої рідини; T_O - температура навколишньої середовища; T - температура зовнішніх стінок ДП; T_θ - температура внутрішніх стінок ДП; T_p - температура робочої рідини.

При застосуванні додаткової речовини, яка буде зазнавати фазовий перехід I-го роду, до цього рівняння необхідно додати член $m_{др} \cdot c_{др} \cdot dT_p + Q_{фн}$, куди, відповідно, входять маса і теплоємність цієї речовини, а також теплота $Q_{фн}$ її фазового переходу.

Додаткова речовина в початковому стані може бути твердою або рідкою. Виберемо можливу тверду речовину, виходячи з її температури плавлення $t_{пл}$ та питомої теплоти плавлення $q_{пл}$. У гідравлічних ДП ВГKM, що найбільш поширені, бажано використовувати робочу рідину на основі мінеральних масел, які дешевші за синтетичні, але зберігають свої властивості лише до температури 130°C . Тобто плавлення твердої додаткової речовини повинне відбуватися при більш низькій температурі. Виходячи з цього, в якості такої речовини підходять лужні метали натрій ($t_{пл} = 97,7^\circ\text{C}$) та калій ($t_{пл} = 63,7^\circ\text{C}$), а також сплави Роза, Ліповиця і Вуда (відрізняються процентним складом вісмуту, свинцю, олова і кадмію), які відповідно мають $t_{пл} = 94^\circ\text{C}$, 70°C і 60°C . Інший важливий показник – питома теплота плавлення, який буде визначати ефективність стабілізації та охолодження ДП. Він повинен бути якомога більшим. Виходячи з цього, можливою речовиною, що найбільш задовольняє поставленим вимогам, є натрій, питома теплота плавлення якого складає $114,7 \text{ кДж/кг}$. Крім того натрій має досить велику теплоємність, яка дорівнює $1,205 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$. [5].

Розрахуємо необхідну кількість натрію. Відомо, що на резонансній швидкості ВГKM робочий цикл її ДП (прямий – зворотний ходи) займає час t близько 1с [6]. При цьому виконується робота A та виділяється теплота

Q , по якій і судять про поглинаючу потужність ДП. Нехай фазовий перехід повинен забезпечити поглинання додаткової потужності $N = 15$ кВт. Враховуючи, що $N = A/t$; можна визначити кількість теплоти $Q = A \cdot t$, яка повинна поглинатися в процесі фазового переходу за 1с, а саме 15 кДж. З іншого боку, $Q = q_{пл} \cdot m$; де m – маса натрію, яка у даному випадку буде дорівнювати 0,131 кг. Відомо, що на пересіченій місцевості, нерівності, які відповідають важким умовам руху, мають обмежену довжину. Це ділянки з декількох нерівностей довжиною 30...50м, при рухові по яким ДП ВГКМ будуть інтенсивно нагріватися. Вказану ділянку на резонансних швидкостях руху машина подолає за 4...6 с, за які необхідно буде поглинути 60...90 кДж теплоти. Таким чином, необхідна кількість натрію буде складати 0,524...0,786 кг. На протязі згаданого часу буде відбуватися фазовий перехід (плавлення натрію), а температура ДП стабілізується на рівні 97,7⁰С. Після подолання важкої ділянки ДП почнуть охолоджуватися, піде зворотний фазовий перехід з виділенням енергії і стабілізацією температури на тих же 97,7⁰С. Цим самим з'явиться можливість підтримувати стабільність характеристик ДП, що підвищить ефективність їх оптимізації.

Нехай маса натрію складає 1 кг (запас на не передбачувані умови). Середня вага телескопічних гідроамортизаторів ВГКМ складає 25 кг. Тоді, з урахуванням додаткового об'єму для розміщення натрію, вага вказаних ДП підвищиться не більше, ніж на 10%, що є припустимо, враховуючи доволі позитивний ефект. Таким чином, створення системи стабілізації та охолодження ДП ВГКМ на основі використання фазового переходу I-го роду твердої додаткової речовини є цілком технічно реалізуємо.

Розглянемо можливість застосування рідкої додаткової речовини. Виходячи з температури кипіння та питомої теплоти паротворення, найбільш придатною і доступною в такій якості є вода. При атмосферному тиску (98,07 кПа) і температурі 100⁰С вона починає переходити у газоподібний стан, при цьому питома теплота паротворення (залежить від тиску та температури і зменшується з підвищенням тиску) складає досить значну величину 2256 кДж/кг. При тиску у 5 атм (490,35 кПа) температура кипіння води становить 151⁰С, а при 10 атм (980,7 кПа) - 179,04⁰С. Крім цього, вода має досить велику питому теплоємність, що дорівнює 4,19 кДж/(кг·К) і випереджає по цьому показнику робочу рідину на основі мінеральних масел у 2,5 рази. З приведених даних видно, що навіть частковий перехід 1кг води у пар (утворюється двофазна система рідини та вологого насиченого пару), дозволяє з великим запасом поглинути необхідні 90 кДж теплоти. Цей запас залишиться значним і з урахуванням підвищеного тиску (він приведе до підвищення температури

кипіння та зниження питомої теплоти паротворення), що дозволить знизити необхідну масу води і зберегти вагу та габарити ДП майже у незмінних параметрах. Необхідно зазначити, що застосування фазового переходу води вимагатиме вирішення деяких технічних проблем. Таким чином, створення системи стабілізації та охолодження ДП ВГKM на основі використання фазового переходу I-го роду рідкої додаткової речовини теж є цілком технічно реалізуємо.

Розглянемо можливість використання фазового переходу II-го роду. Відомо, що питома теплоємність залежить від температури, але з достатньою точністю, для більшості твердих тіл її вважають постійною в інтервалі температур $-40^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$, а для рідин в інтервалі $0^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$. Також відомо, що при певних температурах, які називають точками Кюрі (практично завжди можна підібрати речовину з потрібною температурою Кюрі), феромагнетики (залізо, нікель, кобальт) зазнають фазові перетворення II-го роду і переходять у парамагнетичний стан. Аналогічно, сегнетоелектрики (електричні аналогів феромагнетиків) переходять у параелектричний стан. При нагріві та наближенні до точки Кюрі різко, по ступеневій функції, зростають деякі термодинамічні характеристики речовини, в тому числі і теплоємність. Після фазового переходу вона різко падає, тобто спостерігається суттєва аномалія теплоємності, яку можна використати для підвищення енергоємності ДП.

Розглянемо аномалію теплоємності на прикладі нікелю, що є типовим феромагнетиком. При температурі 20°C його теплоємність дорівнює $0,448 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, при 200°C – $0,511 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, (зростання на 14%), а при наближенні до температури 360°C (точка Кюрі) теплоємність зростає до $0,67 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$, тобто на 50%. При подальшому підвищенні температури (вище точки Кюрі) теплоємність різко падає до величини близько $0,524 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ [7]. З представлених даних випливає, що для цього феромагнетика підвищення теплоємності навіть на 50%, в наслідок її незначної величини, не дозволяє поглинути помітну частку необхідної кількості теплоти.

Визначимо, яку теплоємність повинна була б мати додаткова речовина (або матеріал, з якого можуть бути виготовлені деякі деталі) масою 1 кг при наближенні до температури Кюрі, щоб поглинути пікову теплоту при руху в важких дорожніх умовах. Нехай, як і у попередньому прикладі, необхідно поглинати 15 кДж/с протягом 6 с, тобто кількість теплоти складе 90 кДж , при цьому, температура робочої рідини підвищиться з 100°C до 130°C (в такому випадку, температура Кюрі для додаткової речовини повинна бути близькою до $140 \dots 150^{\circ}\text{C}$). Тоді середнє аномальне підвищення теплоємності повинне складати:

$$\frac{\Delta c}{\partial p} = 90 \text{ кДж} / (1 \text{ кг} \cdot 30 \text{ К}) = 3 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К}) ;$$

Відповідно, максимальне підвищення теплоємкості повинне бути у два рази більшим. Тобто, навіть при аномалії у 50% , початкова теплоємкість при 100⁰С повинна складати досить суттєву величину 12 кДж/(кг·К). Але, серед феромагнетиків та сегнетоелектриків, матеріалів з близькою теплоємкістю виявлено не було. Пошук інших матеріалів з такою підвищеною питомою теплоємкістю показав, що для більшості твердих речовин, які можуть бути використані у конструкції ДП, цей показник не перевищує 0,896 кДж/(кг·К) (алюміній) і лише для натрію він дорівнює 1,205 кДж/(кг·К), а для літію 3,39 кДж/(кг·К). Серед рідких речовин найбільшою питомою теплоємкістю виділяється тільки вода (4,19 кДж/(кг·К)). Необхідно відзначити, що застосування аномалії теплоємкості лише підвищується енергоємність ДП при нагріві, але не стабілізує їх температуру. Таким чином, можливість підвищення енергоємності ДП за рахунок використання матеріалів з підвищеною питомою теплоємкістю, що мають її аномалію при фазовому переході II-го роду не представляється можливим, бо такі матеріали знайдено не було.

Висновки.

1. Використання фазового переходу I-го роду, який зазнає додаткова речовина у твердому або рідкому стані є технічно реалізуємо при створенні нетрадиційних систем стабілізації температури та охолодження ДП підвіски ВГКМ.

2. Використання аномалії теплоємкості, що спостерігається при наближенні температури речовини до точки Кюрі (фазовий перехід II-го роду), для створення нетрадиційних систем стабілізації температури та охолодження ДП підвіски ВГКМ неможливе за відсутністю речовин з необхідними термодинамічними характеристиками.

Список літератури: 1. Дуценко В.В., Дудка А.В. Математическое моделирование работы тепловой трубы системы охлаждения демпфирующих устройств подвески гусеничных машин. Вестник НТУ «ХПИ», Сб. науч. тр. Тематический выпуск: “Автомобиле-и тракторостроение”. -2007. - №33. -С.53-60. 2. Дуценко В.В., Дудка А.В. Гидравлический амортизатор. Патент № 21950, 10.04.07. 3. Дуценко В.В., Воронцов С.Н. Оценка влияния параметров системы поддрессирования транспортного средства на тепловую напряженность демпфирующих элементов. Вестник НТУ «ХПИ», Сб. науч. тр. Тематический выпуск: “Автомобиле-и тракторостроение”. -2000. - №110. - С.183-195. 4. Яворский Б.М., Детлах А.А. Справочник по физике. - М.: Наука, 1979. -942с. 5. Лифшиц Б.Г., Кратошин В.С., Липецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. -320 с. 6. Александров Е.Е, Грита Я.В., Дуценко В.В. и др. Колебания в транспортных машинах. –Киев, 1996. -256 с. 7. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений. –М.: изд-во МГУ, 1976. -156 с.

Поступила в редакцию 17.06.08.